

При реконструкции очистных сооружений поверхностных сточных вод предлагается подвергать очистке весь объем талого стока и наиболее загрязненную часть дождевых сточных вод, образованную от расчетного слоя осадков. Сток от слоя осадков выше расчетного слоя относится к категории условно-чистого и отводится в сеть городской дождевой канализации. Очищенные сточные воды предлагается направлять на подпитку системы водоснабжения котельной предприятия.

Величина расчетного слоя осадков определяется согласно рекомендациям НИИВОДГЕО путем построения графика функции распределения вероятности суточных слоев осадков на основании статистических данных о количестве дождей с различными слоями осадков для города Гомеля, где находится предприятие. Для периода однократного превышения интенсивности $P = 0,05$ года суточный слой осадков составляет 3,5 мм; для $P = 0,075$ года – 6,2 мм; для $P = 0,1$ года – 8,3 мм.

К расчету при реконструкции очистных сооружений принят период однократного превышения расчетной интенсивности $P = 0,075$ года с величиной слоя осадков равной 6,2 мм, сток от которого подвергается очистке в полном объеме.

Поверхностные сточные воды с площадки предприятия поступают в аккумулирующий резервуар, где происходит регулирование расхода поверхностного стока, а также его предварительная механическая очистка.

Из аккумулирующего резервуара сточные воды поступают в горизонтальную нефтеловушку, где происходит очистка от взвешенных веществ и всплывающих нефтепродуктов. Поскольку механизм по сбору нефтепродуктов с поверхности воды в нефтеловушке не работает, то предлагается его заменить на современные сорбирующие подушки. После нефтеловушки сточные воды поступают в фильтры. Поскольку старая коксовая загрузка фильтров не позволяет очистить сточные воды до нормативных значений для подачи воды на подпитку котельной, то предлагается заменагрузочного материала на сорбент пенополиуретан. Перед подачей в систему водоснабжения предприятия очищенные сточные воды накапливаются в аккумулирующем резервуаре, в качестве которого предложено использовать вторую секцию существующей нефтеловушки.

Проект реконструкции очистных сооружений предусматривает экологически безопасное обращение с осадками, образующимися при очистке поверхностных сточных вод. Осадок из аккумулирующего резервуара и нефтеловушки отводится в шламонакопитель, где накапливается, а затем вывозится спецавтотранспортом на полигон нетоксичных промышленных отходов. Всплывающие нефтепродукты удаляются с помощью сорбирующих подушек.

В результате реализации проекта реконструкции очистных сооружений сточных вод и внедрения проектных предложений по повторному использованию очищенных дождевых и талых сточных вод на подпитку системы водоснабжения котельной может быть достигнут годовой экономический эффект в размере 70 млн руб.

УДК 536.24

ТЕПЛОБМЕН ПРИ КИПЕНИИ НА ГЛАДКИХ И РАЗВИТЫХ ТЕПЛООТДАЮЩИХ ПОВЕРХНОСТЯХ

А. В. ОВСЯННИК

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

Теплообменные аппараты испарительного типа широко применяются в различных отраслях промышленности, в холодильной и криогенной технике, в микроэлектронике для охлаждения элементов микроэлектронных схем, в теплонасосных установках, в жилищно-коммунальном секторе (отопление, горячее водоснабжение, кондиционирование) и т. д.

В связи с дефицитом энергоресурсов в Республике все большее внимание привлекают теплонасосные установки (ТНУ).

Применение тепловых насосов для целей отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования приводит к существенному снижению потребления топливно-энергетических ресурсов и, при этом, значительно сокращается количество вредных выбросов в окружающую среду. Присоедине-

ние Республики Беларусь к Киотскому протоколу накладывает на страну определенные ограничения по выбросам и использование тепловых насосов как источника тепловой энергии может частично решить эту проблему. Поэтому снижение температурных напоров в испарителях, их массогабаритных показателей и тепловых потерь является одной из важных задач, ведущих к удешевлению ТНУ и повышению их энергетических показателей. Вклад в решение этих проблем может внести внедрение научно обоснованных и экспериментально проверенных методов интенсификации теплообмена при кипении путем развития теплоотдающей поверхности.

Принятие Монреальской конвенции требует использования в качестве хладагентов экологически безопасных и нетоксичных рабочих тел. Таким требованиям удовлетворяют озонобезопасные хладагенты и, в частности, R134a, R404a, R407C, R410, обладающие хорошими теплофизическими и термодинамическими свойствами. В связи с этим важным становится исследование процессов теплообмена в теплообменной аппаратуре с установлением зависимостей между количественными характеристиками процесса теплообмена при кипении, режимными параметрами и другими факторами, влияющими на интенсивность теплообмена.

Для решения поставленных задач было реализовано два направления исследования, дополняющие друг друга: экспериментальное и теоретическое. Экспериментальное исследование теплоотдачи при кипении жидкостей было проведено в области развитого пузырькового кипения, характерного для испарительных систем на стенде, разработанном в ГТТУ им. П. О. Сухого на кафедре ПТЭ и Э. Режимные параметры проведения экспериментов для неізотермических оребренных поверхностей: жидкости – ацетон, этиловый спирт и фреон 134a; давление насыщения 0,1–0,8 МПа; плотность теплового потока – 8–63 кВт/м². Характеристики исследованных и анализируемых образцов: длина дюралюминиевого образца с прямоугольным, треугольным, трапециевидным и параболическим оребрением составила 280 мм, высота ребра – 12,5 мм, толщина ребра в основании – 2–4 мм, межреберное расстояние – 2–4 мм; диаметр несущей (основной) поверхности – 25 мм.

В результате анализа полученных зависимостей можно сделать вывод о том, что средние коэффициенты теплоотдачи по ребру при развитом пузырьковом кипении практически не зависят от профиля ребра при свободном отводе паровой фазы (рисунок 1).

На рисунке 2 приведены зависимости отношения коэффициентов теплоотдачи (при ΔT основной поверхности) от плотности теплового потока на основной поверхности образца к коэффициентам теплоотдачи на гладкой поверхности – $\alpha_{\text{мр}}/\alpha_{\text{гл}}$, при кипении этилового спирта для всех типов исследованных оребренных поверхностей.

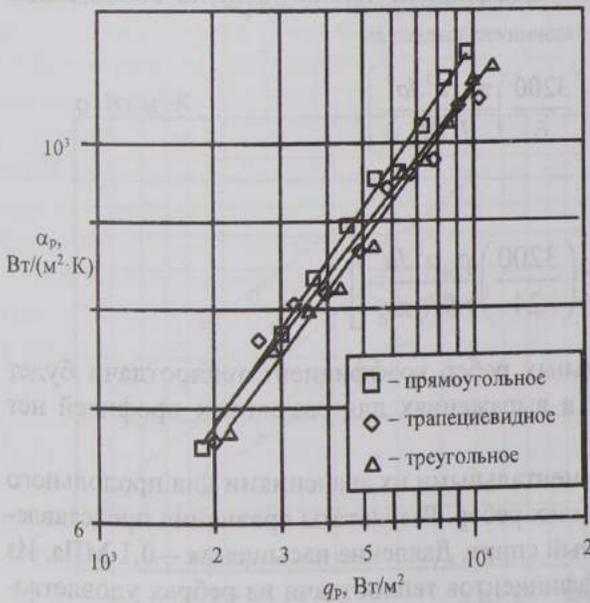


Рисунок 1 – Зависимости среднего коэффициента теплоотдачи по ребру от плотности теплового потока, отводимого ребром: для продольного оребрения при кипении этилового спирта

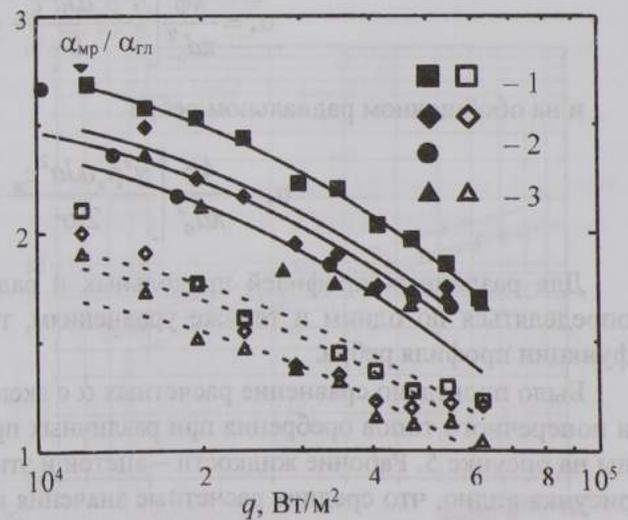


Рисунок 2 – Зависимость $\alpha_{\text{мр}}/\alpha_{\text{гл}}$ при кипении этилового спирта; сплошные линии – поперечное оребрение; штриховые линии – продольное оребрение

В результате обобщения экспериментальных данных по теплоотдаче на ребре было получено уравнение

$$Nu_p = 21X^{-0,1} K_p^{0,3} Pr^{-0,2}.$$

Результаты опытов описываются полученной зависимостью с погрешностью $\pm 15\%$. Причем данная зависимость справедлива как для продольного, так и для поперечного типов ребер.

При обобщении экспериментальных значений коэффициентов теплоотдачи на межреберной поверхности получены следующие зависимости:

– для поперечного типа оребрения:

$$Nu_{mp} = 115K_{mp}^{0,4} Pr^{-0,2};$$

– продольного типа оребрения:

$$Nu_{mp} = 85K_{mp}^{0,4} Pr^{-0,2}.$$

Отличие в значениях константы C можно объяснить ухудшением условий отвода паровой фазы с нижней поверхности образцов вследствие запаривания поверхности из-за продольного расположения ребер. Погрешность определения α_{mp} , также не превышает $\pm 15\%$.

Была предложена теплофизическая модель процесса теплообмена при развитом пузырьковом кипении жидкостей на неизотермических оребренных поверхностях (рисунки 3, 4).

Модель процесса теплообмена при кипении жидкостей на продольных ребрах может быть представлена в виде

$$f_2(x) \frac{d^2 J}{dx^2} + \frac{df_2(x)}{dx} \frac{dJ}{dx} = \frac{4\phi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a Ja^2 c_{ж} J}{\lambda L} + \gamma^2 \left(\frac{3200}{6} \right) \frac{\rho_{ж} a^3 Ja^4}{R_0 \lambda L^2} \right].$$

Дифференциальное уравнение теплопроводности обобщенного радиального ребра будет

$$f_2(r) \frac{d^2 J}{dr^2} + \frac{f_2(r)}{r} \frac{dJ}{dr} + \frac{df_2(r)}{dr} \frac{dJ}{dr} = \frac{4\phi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a Ja^2 c_{ж} J}{2\pi r \lambda} + \gamma^2 \left(\frac{3200}{12} \right) \frac{\rho_{ж} a^3 Ja^4}{r \lambda d_0 \pi r_0} \right].$$

Используя дифференциальные уравнения получим коэффициент теплоотдачи на обобщенном продольном ребре

$$\alpha_* = \frac{4\phi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a Ja^2 c_{ж}}{L} + \gamma^2 \left(\frac{3200}{6} \right) \frac{\rho_{ж} a^3 Ja^4}{L^2 g R_0} \right],$$

и на обобщенном радиальном ребре

$$\alpha_* = \frac{4\phi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a Ja^2 c_{ж}}{2\pi r} + \gamma^2 \left(\frac{3200}{24} \right) \frac{\rho_{ж} a^3 Ja^4}{r g R_0 \pi r_0} \right].$$

Для различных профилей продольных и радиальных ребер коэффициент теплоотдачи будет определяться по одним и тем же уравнениям, т. к. в выражениях для различных профилей нет функции профиля ребра.

Было проведено сравнение расчетных α с экспериментальными их значениями для продольного и поперечного типов оребрения при различных профилях ребер. Результаты сравнения представлены на рисунке 5. Рабочие жидкости – ацетон и этиловый спирт. Давление насыщения – 0,1 МПа. Из рисунка видно, что средние расчетные значения коэффициентов теплоотдачи на ребрах удовлетворительно согласуются с экспериментальными значениями. Погрешность определения коэффициентов теплоотдачи составляет $\pm 20\%$.

На рисунке 6 представлены результаты сравнения расчетных коэффициентов теплоотдачи на ребрах (цилиндрических шипах) постоянного поперечного сечения при кипении на них фреона-113 в диапазоне плотности теплового потока 40–600 кВт/м² при атмосферном давлении. Режим кипе-

ния – развитый пузырьковый. Из рисунка видно, что расчетные значения коэффициентов теплоотдачи удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными авторов и погрешность определения α составляет $\pm 30\%$.

Кроме того, как было установлено, интенсивность теплоотдачи на ребрах не зависит от типа, профиля ребра и количества ребер, а определяется только режимными параметрами, теплофизическими свойствами жидкости, геометрическими размерами оребренной поверхности и внутренними характеристиками процесса кипения.

Тогда интенсивность теплоотдачи при кипении на продольных ребрах можно рассчитывать по зависимости:

$$\alpha_* = \frac{4\varphi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a_{ж} Ja^2 c_{ж}}{L} \right] = \frac{4\varphi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a_{ж} Ja^2 c_{ж}}{L_{экв}} \right] = \frac{4\varphi}{\pi d_0^2} \left[\frac{\gamma^2 \rho_n a_{ж} Ja^2 c_{ж}}{2\pi r} \right]$$

Используя приведение интенсивности теплоотдачи к записи в безразмерном виде, получим уравнение для расчета коэффициента теплоотдачи на ребрах продольного и поперечного типа в безразмерном виде.

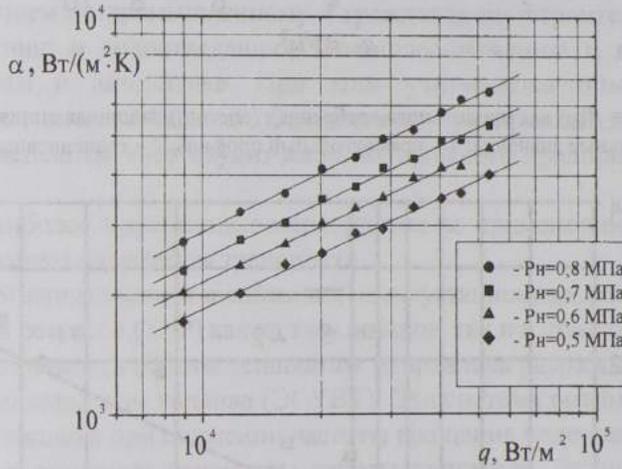


Рисунок 3 – Экспериментальные зависимости $\alpha = f(q)$ при кипении фреона-134а на гладкой технически шероховатой поверхности

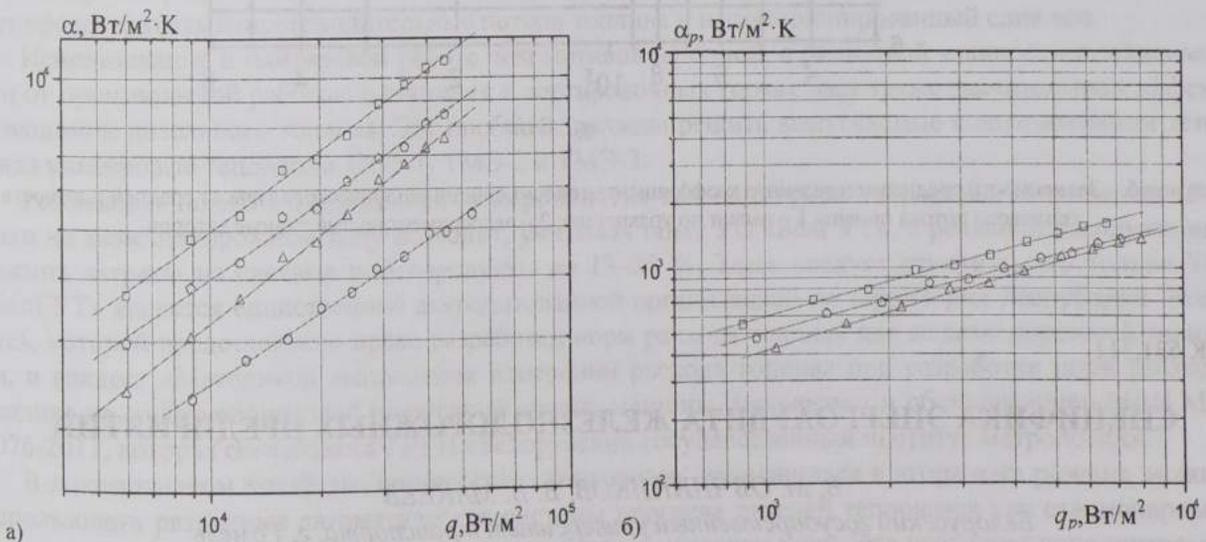


Рисунок 4 – Сравнение полученных экспериментальных зависимостей при кипении фреона-134а на продольно оребренных поверхностях с различным профилем ребра (круг – технически шероховатая поверхность, треугольник – продольное треугольное оребрение, ромб – продольное трапециевидное оребрение, квадрат – продольное прямоугольное оребрение)

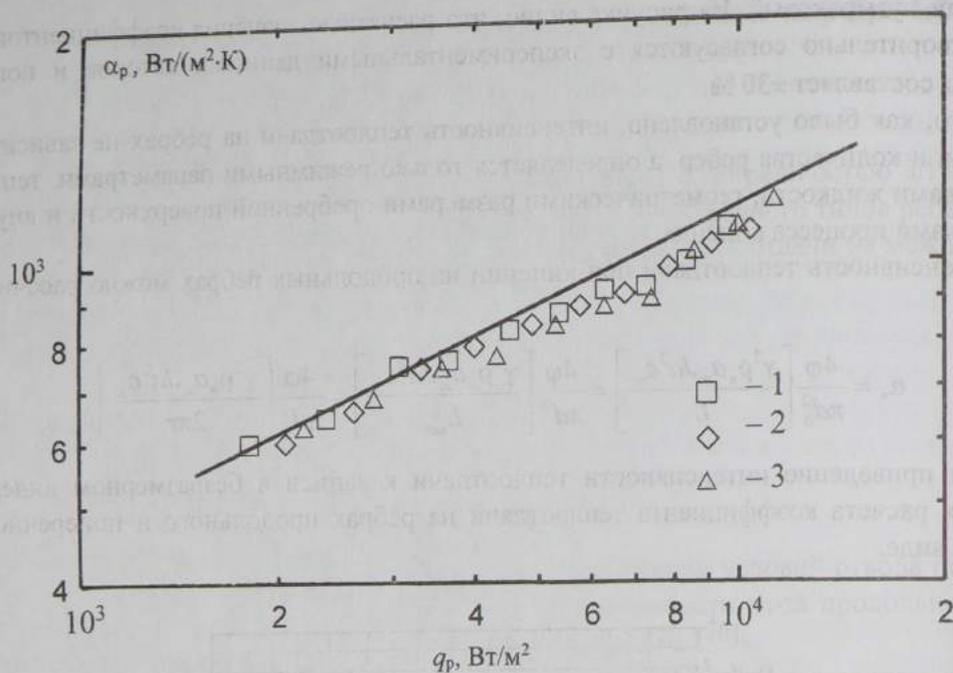


Рисунок 5 – Зависимость $\alpha_p = f(q_p)$ для продольного оребрения : (ацетон); сплошная линия – расчет по уравнению; символы – экспериментальные значения; 1 – прямоугольный профиль; 2 – трапециевидный; 3 – треугольный

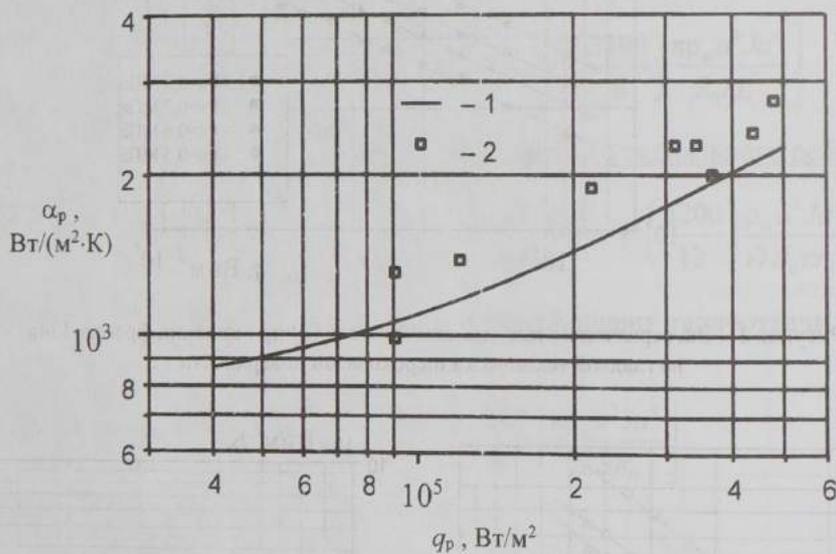


Рисунок 6 – Зависимости среднеинтегрального коэффициента теплоотдачи цилиндрического типа от средней плотности теплового потока по типу 1 – расчет по уравнению; 2 – экспериментальные данные авторов

УДК 621.311

СПЕЦИФИКА ЭНЕРГОАУДИТА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В. М. ОВЧИННИКОВ, В. В. МАКЕЕВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Научно-исследовательский центр «Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте» (НИЦ ЭиЭТ) и кафедра «Энергоэффективные технологии на транспорте» (ЭТТ) совместно с предприятиями Белорусской железной дороги работают над решением проблем, связанных с энерго- и ресурсосбережением, способствуют решению задач по снижению себестоимости перевозочно-